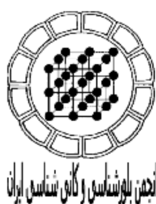
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۹، از صفحهٔ ۸۴۵ تا ۸۵۸



ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های نوری آمفیبول‌های سدیمی- کلسیمی و کلسیمی شیست‌های بازیک منطقه شاه‌نشین، جنوب غرب زنجان

صادق درخش[۱]، جواد ایزدیار[*۱]، ابوالفضل پورامیدی[۲]، علی حاج ابوالفتح[۱]، مهسا طهماسبی[۱]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- گروه معدن، دانشکده فنی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۱۰/۱۰، نسخه نهایی: ۹۸/۱۲/۱۴)

چکیده: منطقه شاه‌نشین در جنوب غرب زنجان و در مرز استان‌های زنجان و کردستان قرار دارد. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، شیست‌های بازی این منطقه شامل اکتینولیت شیست، اکتینولیت پیروکسن شیست، اکتینولیت پیروکسن گارنت شیست و اکتینولیت اپیدوت شیست هستند. اکتینولیت شیست‌ها فراوان‌ترین نوع شیست‌های بازی هستند و از آمفیبول، موسکوویت، کلریت و آلبیت به عنوان کانی‌های اصلی تشکیل شده‌اند. در این شیست‌ها، آمفیبول‌ها در دو جایگاه بافتی مایل به شیستوارگی اصلی و هم راستا با شیستوارگی اصلی دیده می‌شوند. بررسی ویژگی‌های نوری آمفیبول‌ها نشان می‌دهد که از مرکز به سمت لبه بلور، مقادیر شکست مضاعف و زاویه خاموشی($n\gamma \wedge c$) کاهش یافته و رنگ غیر تداخلی از سبز مایل به آبی در راستا $n\gamma$ در مرکز به سبز کمرنگ در لبه تغییر می‌کند. از سوی دیگر، بررسی ویژگی‌های شیمیایی آمفیبول‌ها نشان می‌دهد که مرکز آن دارای ترکیب وینچیت – ریشتریت است، درحالی که لبه‌ها دارای ترکیب اکتینولیت هستند. بنابراین، تغییر ویژگی‌های نوری ارتباط مستقیمی با تغییر ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها دارد که بیشتر بر اثر عکس جانشینی گلوکوفانی $Al^{Oct}\ Na^{M4}_{-1}\ Mg^{Oct}\ Ca^{M4}$ و جانشینی پلاژیوکلازی ($Ca^{M4}\ Al^{T} Na^{M4}_{-1} Si^{T}_{-1}$) رخ می‌دهد. محاسبات فشار – دما برای ترکیب شیمیایی مرکز آمفیبول‌ها نشان دهنده شرایط میانگین فشار ۱۴ kbar و دمای ۴۴۰ ^{O}C است درحالی که لبه آن‌ها در شرایط میانگین ۴ kbar و ۵۲۰ ^{O}C تشکیل شده‌اند. از این رو، ساختار منطقه‌بندی نوری و شیمیایی در آمفیبول‌های شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین برآمده از تغییر شرایط فشار – دمای دگرگونی است.

واژه‌های کلیدی: *آمفیبول‌های سدیمی - کلسیمی و کلسیمی؛ شیست‌های بازی؛ ویژگی‌های نوری؛ شاه‌نشین؛ زنجان.*

مقدمه

آمفیبول‌ها یکی از فراوان‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده سنگ-های دگرگونی هستند [۱-۳]. فرمول گسترده ساختاری آمفیبول‌ها عبارت است از:

$$A^{12}(M4)_2^{6\text{-}8}(M1)_2^{6}(M3)_1^{6}(M2)_2^{6}(T1)_4^{4}(T2)_4^{4}O_{22}(OH)_2$$

در این فرمول A^{12} نشانگر موقعیت هم‌آرایی دوازده‌تایی با ظرفیت ۱ می‌باشد و توسط کاتیون‌های K و Na پر می شود؛ $(M4)_2^{6-8}$نمایانگر موقعیت هم‌آرایی شش - هشت‌تایی با ظرفیت ۲ می‌باشد که کاتیون‌های Na، Ca، Fe^{2+} و Mg در آن قرار می‌گیرند؛ در موقعیت هم‌آرایی شش‌تایی $(M1)_2^{6}(M3)_1^{6}$ با ظرفیت ۲ برای M1 و ۱ برای M3 کاتیون‌های Mn، Fe^{2+} و Mg واقع می‌شوند؛ $(M2)_2^{6}$موقعیت هم‌آرایی شش‌تایی با ظرفیت ۲ می‌باشد و توسط کاتیون‌های Al، Ti، Fe^{3+}، Mg و Fe^{2+} پر می‌شوند و در موقعیت‌های هم‌آرایی چهارتایی $(T1)_4^{4}(T2)_4^{4}$با ظرفیت ۴ کاتیون‌های Si و Al واقع می‌شوند [۱-۴].

این ساختار گسترده شیمی‌کانی و تنوع کاتیون‌های شرکت کننده در آن موجب تشکیل آمفیبول‌ها در شرایط متفاوت فشار و دمای دگرگونی از سنگ‌های اولیه دگرگونی می‌شوند [۱-۳]. همچنین این ساختار باز و ترکیب شیمیایی متنوع باعث

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۴۱۰۱۰۶، نمابر: ۰۲۴۳۳۰۵۴۰۰۲، پست الکترونیکی: izadyar@znu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

می‌گردد که آمفیبول‌ها نسبت به تغییر شرایط ترمودینامیکی بویژه فشار- دما حساس باشند و هرگونه تغییری را در خود ثبت کنند. این تغییرات اغلب به صورت ساختارهای منطقه‌بندی شیمیایی در نتیجه جانشینی کاتیون‌ها در جایگاه‌های با هم‌آرایی متفاوت آمفیبول‌ها دیده می‌شوند و این ویژگی باعث می‌شود که از آمفیبول‌ها به طور گسترده‌ای برای تعیین شرایط و الگوهای دگرگونی استفاده گردد [۵-۱۰]. شایع‌ترین جانشینی‌های کاتیونی آمفیبول‌ها در اثر تغییر شرایط ترمودینامیکی طی دگرگونی عبارتنداز جانشینی گلوکوفانی $(NaAl^{VI} Ca_{-1} Mg_{-1})$ شامل جانشینی Na به جای Ca در جایگاه M4 همراه با جانشینی Al^{VI} به جای Mg در جایگاه M2، جانشینی چرماکیتی $(Al^{VI} Al^{IV} Mg_{-1} Si_{-1})$ شامل جانشینی Al^{VI} به جای Mg در جایگاه M2 به همراه جانشینی Al^{IV} به جای Si در جایگاه T2، جانشینی ادنیتی $(\square_{-1} Na Al^{IV} Si_{-1})$ شامل جانشینی Na در جایگاه خالی A و جانشینی Al^{IV} به جای Si در جایگاه T1 [۱-۳ و ۵]. از سوی دیگر، رابطه بین ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها و ویژگی‌های نوری آن‌ها مدت ها قبل مشخص شده است [۱۱]. با افزایش جانشینی Fe^{2+} به جای Mg در سری ترمولیت - فرواکتینولیت و همچنین در هورنبلند مقادیر زاویه بین دو محور نوری (2V)، زاویه خاموشی (nγ ∧c) و اختلاف راه نوری (Δ) کاهش یافته، در حالی که ضرایب شکست افزایش می‌یابند. در آمفیبول‌های سدیمی در سری میان اعضای نهایی گلوکوفان - ریبکیت، با جانشینی $Mg = Fe^{2+}$ و $Al = Fe^{3+}$ ویژگی‌های نوری به شدت تغییر می‌کنند، برای مثال، جانشینی $(Fe^{2+} Fe^{3+} Mg_{-1} Al_{-1})$ باعث افزایش ضرایب شکست و کاهش زاویه بین دو محور نوری می‌شود [۴]. این بررسی‌ها اغلب بر بلورهای مجزا با ترکیب همگن انجام شده و بیشتر پیرامون اثر رابطه جانشینی Fe^{2+} به جای Mg بر روی ویژگی‌های نوری آمفیبول بوده‌اند. وجود ساختارهای منطقه‌بندی شیمیایی در یک بلور آمفیبول امکان پیگیری دقیق تر رابطه بین جانشینی‌های پیچیده‌تر و تغییر ویژگی‌های نوری را فراهم آورد. طی بررسی‌های سنگ‌شناسی در شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین، آمفیبول‌های با ساختار منطقه‌بندی شیمیایی دیده شدند که در این پژوهش ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های نوری، رابطه بین ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های نوری و چگونگی تشکیل آن‌ها بررسی می‌شود.

روش بررسی

با انجام پیمایش‌های صحرایی، ۴۰ نمونه از شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین برداشت و با تهیه مقطع نازک از نظر کانی-شناسی و بافتی بررسی شدند. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها، یک نمونه از اکتینولیت شیست توسط دستگاه ریز پردازنده الکترونی (Cameca SX100) با سه کانال WDS در مرکز پژوهشی KML مالزی تجزیه نقطه‌ای شدند. محاسبه دوباره تجزیه کانی‌ها، تعیین مقدار Fe^{3+} و محاسبه فعالیت اعضای نهایی کانی‌ها با استفاده از نرم‌افزار AX از هلند و پاول [۱۲] انجام شد.

زمین‌شناسی

منطقه شاه‌نشین در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب شهر زنجان و در گستره طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۲۷ °۳۶ تا ″۰۰ ′۱۸ °۳۶ و عرض‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۵۸ °۴۷ تا ″۰۰ ′۴۰ °۴۷ و در ناحیه مرزی استان‌های زنجان و کردستان قرار دارد (شکل ۱). مجموعه سنگ‌های منطقه شاه‌نشین را می‌توان به سه گروه سنگ‌های دگرگون‌شده، دگرگون‌نشده و توده‌های نفوذی تقسیم نمود. سنگ‌های دگرگون‌شده دارای سن کرتاسه بوده و شامل شیست‌های کرتاسه (K_4)، اسلیت و فیلیت (K_2) با میان لایه‌های از مرمر هستند [۱۳] (شکل ۲). سنگ‌های دگرگون نشده از کرتاسه پسین تا پلیوسن گسترش دارند و شامل شیل، آهک، سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پسین (K_1)، ماسه‌سنگ و کنگلومرای ائوسن (E) و الیگوسن (OL)، کنگلومرا، مارن، آهک و ماسه سنگ الیگومیوسن (Om_1)، توف و گدازه‌های الیگومیوسن (Om_2) با ترکیب آندزیتی و ترکیب تراکی‌آندزیتی و بازالتی، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک، مارن و توف میوسن (M) و سرانجام کنگلومرا، مارن و توف پلیوسن (PL) هستند. قطعه‌هایی از اسلیت و فیلیت درون کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های ائوسن و الیگومیوسن دیده می‌شوند [۱۳] (شکل ۲). مجموعه سنگ‌های دگرگونی در شمال چهارگوش یاسوکند رخنمون دارند و بیشترین گسترش آن‌ها مربوط به واحد اسلیتی و فیلیتی است. مجموعه سنگ‌های غیردگرگونی در بخش‌های میانی و جنوبی چهارگوش یاسوکند رخنمون دارند و بیشترین گسترش آن‌ها مربوط به واحدهای رسوبی پلیوسن (PL) و الیگومیوسن (Om_1) است. ارتباط بین مجموعه‌های سنگی

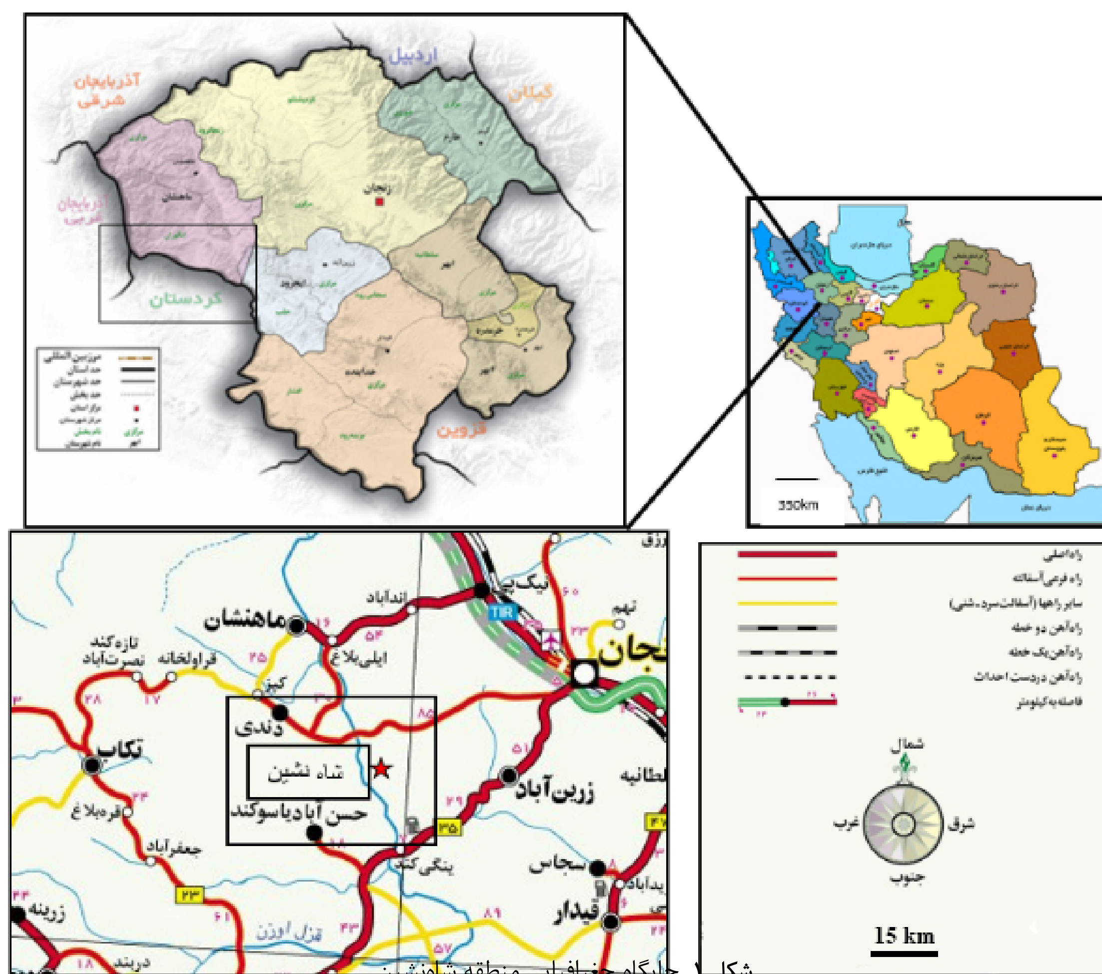
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

دگرگونی و غیردگرگونی چندان آشکار نیست، ولی در بعضی مکان‌ها، این ارتباط گسلی است. گروه سوم را توده‌های نفوذی منطقه تشکیل می‌دهند که رخنمون آن‌ها در شمال و غرب چهارگوش یاسوکند قابل دیده است. در شمال چهارگوش، توده‌های نفوذی گرانیتی در مجموعه دگرگونی کرتاسه نفوذ کرده‌اند، در حالی که توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریتی تا گرانودیوریتی در غرب چهارگوش درون واحدهای رسوبی الیگومیوسن نفوذ کرده‌اند. در هر دو مورد دگرگونی مجاورتی قابل دیده است [۱۳] (شکل ۱).

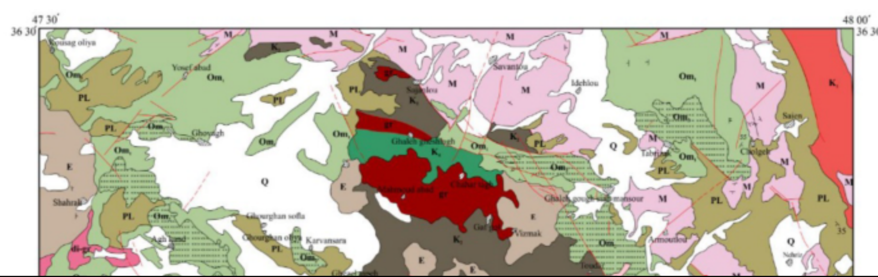
بحث و بررسی

سنگ‌نگاری

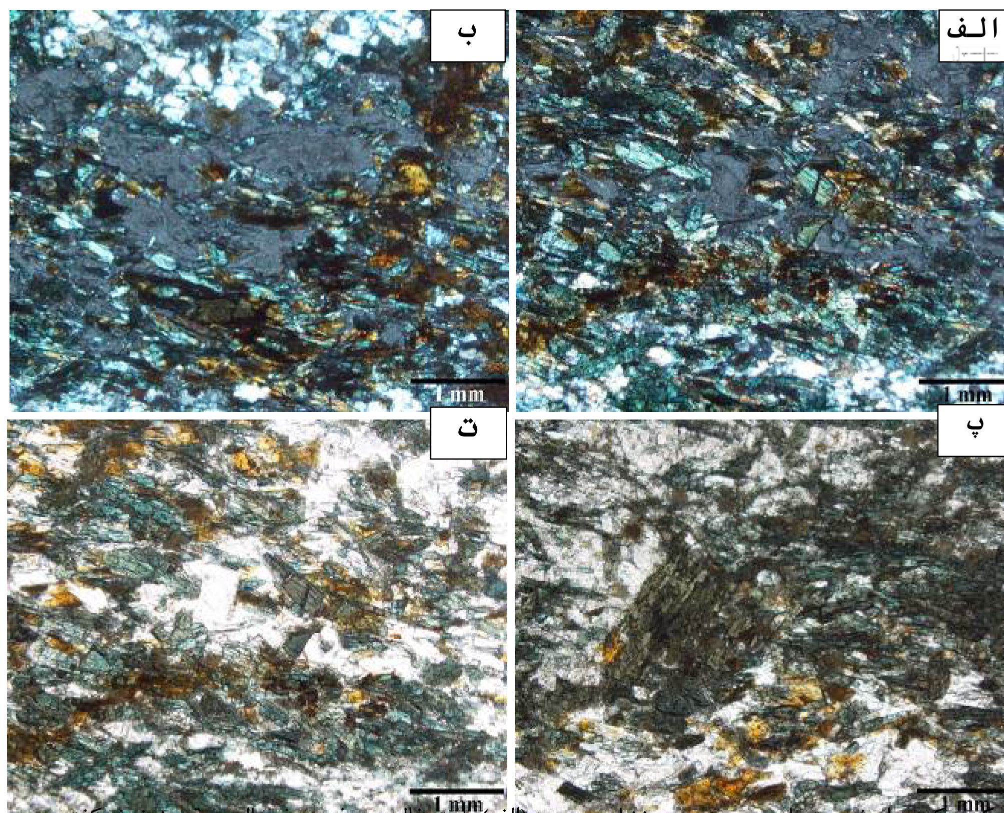
بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین به چهار گروه اکتینولیت شیست، اکتینولیت پیروکسن شیست، اکتینولیت پیروکسن گارنت شیست و اکتینولیت اپیدوت شیست تقسیم می‌شوند [۱۴]. فراوان‌ترین نوع شیست‌های بازی منطقه اکتینولیت شیست‌ها هستند که در این پژوهش، آمفیبول‌های موجود در آن‌ها بررسی شده‌اند. بافت غالب اکتینولیت شیست‌ها پورفیری غربالی ورقه نخ شکفتی است و از آمفیبول، آلبیت، موسکوویت و کلریت تشکیل شده‌اند (شکل ۳ الف). فلدسپارهای آلبیتی به صورت پورفیری غربالی دیده می‌شوند که گاهی میانبارهایی از آمفیبول در آن‌ها وجود دارند. پیرامون شکفته‌بلورهای آلبیتی، لبه فشارشی شامل کلریت و مسکوویت وجود دارد (شکل ۳ ب). آمفیبول‌ها به دو صورت بافتی دیده می‌شوند. گروه نخست به صورت شکفته بلورهای مایل نسبت به شیستوارگی اصلی بوده و این آمفیبول-ها از لبه دارای تبدیل‌شدگی به کلریت هستند (شکل ۳ پ).



شکل ۱ جایگاه جغرافیایی منطقه شاه‌نشین



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ یاسوکند (قجور) جایگاه منطقه مورد بررسی بر آن، برگرفته از مرجع [۱۳].



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از شیست‌های مورد بررسی نشان دهنده: (الف) بافت غالب پورفیری غربالی ورقه تخ شکفتی و مجموعه کانیایی آمفیبول، آلبیت، موسکوویت و کلریت در نور دو بار قطبیده؛ (ب) پورفیری‌غربالی‌های آلبیتی با میانبارهایی از آمفیبول و دارای لبه فشارشی از کلریت و موسکوویت در نور دوبار قطبیده؛ (پ) شکفته بلورهای آمفیبول مایل نسبت به شیستوارگی اصلی و تبدیل‌شدگی به کلریت از لبه در نور یک بار قطبیده؛ (ت) آمفیبول‌های موجود در راستای شیستوارگی اصلی با ساختار منطقه‌بندی در نور یک بار قطبیده. نام‌های اختصاری کانی‌ها Chl: کلریت، Amp: آمفیبول، Ab: آلبیت و Ms: موسکوویت) برگرفته از مرجع [۱۵] است.

نوع دوم از آمفیبول‌ها در راستای شیستوارگی اصلی قرار داشته و اغلب از نظر نوری ساختار منطقه‌بندی دارند. این آمفیبول‌ها در مرکز دارای رنگ غیرتداخلی سبز مایل به آبی و در لبه سبز کم‌رنگ هستند (شکل ۳ ث). موسکوویت، کلریت و آمفیبول تشکیل دهنده شیستوارگی اصلی سنگ هستند. موسکوویت و کلریت در لبه فشارشی شکفته بلورهای آلبیت و آمفیبول نیز دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ الف و ب).

ویژگی‌های نوری

آمفیبول‌ها در دو سیستم بلوری منو تک میل و راستگوشی متبلور می‌شوند. آمفیبول‌های تک میل در رده منشوری متبلور می‌شوند که در آن یک محور چرخش درجه ۲ به عنوان محور b بلورشناسی است و محورهای a و c در صفحه آینه‌ای عمود بر b قرار دارند. این در حالی است که آمفیبول‌های راستگوشی در رده دومنشوری متبلور می‌شوند و در آن سه محور چرخش درجه ۲ بر سه محور بلورشناسی منطبق بوده و یک صفحه آینه‌ای بر هر یک از این آنها عمود است [۱۶]. در بلورهای تک میل یکی از راستاهای اصلی ضریب شکست ($n\beta$) بر محور b بلورشناسی منطبق است در حالی که دو راستای دیگر ($n\beta$ و $n\alpha$) بر روی صفحه ac بلور قرار دارند. این امر باعث می‌شود که صفحه‌های موازی سطح (۰۱۰) خاموشی مایل داشته باشند و اغلب از این سطح برای تشخیص ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها استفاده می‌شود. آمفیبول‌ها در برش عرضی موازی سطح (۰۰۱) دارای خاموشی متقارن و در برش طولی موازی سطح (۱۰۰) دارای خاموشی مستقیم هستند [۴].

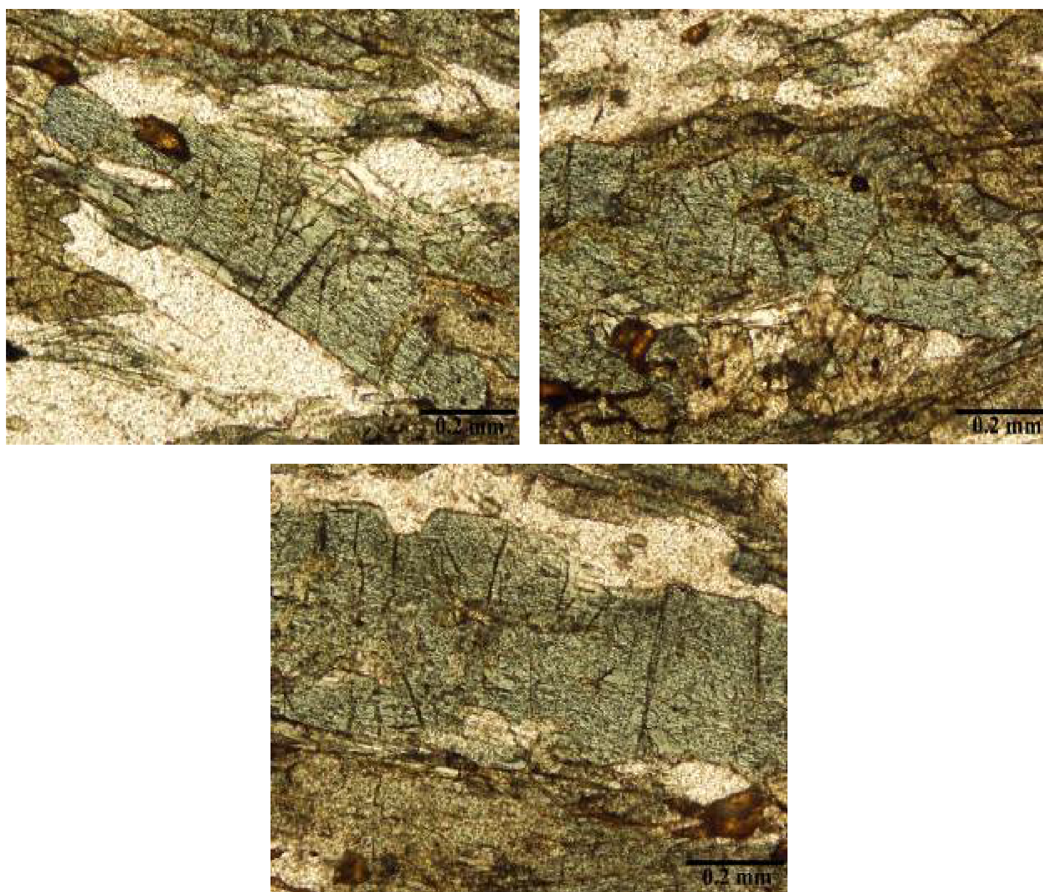
بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی نوری بر نمونه اکتینولیت شیست، آمفیبول‌ها در دو برش هندسی دیده می‌شوند که شامل برش طولی موازی محور c و عمود بر محور b بلورشناسی و برش عرضی عمود بر محور c و موازی محورهای b و a بلورشناسی هستند. برش‌های هندسی طولی موازی محور c و عمود بر محور b بلورشناسی ساختار منطقه‌بندی نوری را نشان

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

می‌دهند. ویژگی‌های نوری شامل زاویه خاموشی ($n\gamma \wedge c$)، شکست مضاعف و رنگ غیرتداخلی در راستاهای $n\alpha$ و $n\gamma$ برای سه بلور آمفیبول اندازه‌گیری شدند که نتایج در شکل ۴ و جدول ۱ آورده شده‌اند. در بلور آمفیبول ۱۲، از مرکز به سمت لبه کانی، رنگ تداخلی از قرمز نارنجی سری اول به خاکستری سری اول تغییر یافته، مقدار شکست مضاعف از ۰/۰۱۸ به ۰/۰۱۰ کاهش یافته، زاویه خاموشی از ۲۱ به ۱۶ درجه کاهش یافته و رنگ تداخلی در راستای $n\gamma$ در مرکز بلور سبز آبی و در لبه آن، سبز کم‌رنگ است، در حالی که رنگ غیرتداخلی در راستای $n\alpha$ در مرکز بلور سبز مایل به زرد و در لبه آن، زرد مایل به زرد است (شکل ۴ الف و جدول ۱).

در بلور آمفیبول شماره ۲ از مرکز به سمت لبه کانی، رنگ تداخلی از زرد مایل به نارنجی سری اول به خاکستری سری اول تغییر کرده، مقدار شکست مضاعف از ۰/۰۱۴ به ۰/۰۱۳ کاهش یافته، زاویه خاموشی از ۱۷ به ۱۰ درجه کاهش یافته و رنگ غیرتداخلی در راستای $n\gamma$ در مرکز بلور سبز مایل به آبی و در لبه سبر مایل به زرد است. این در حالی است که رنگ غیرتداخلی در راستای $n\alpha$ در مرکز بلور سبز مایل به زرد و در لبه آن، زرد مایل به سبز است (شکل ۴ ب و جدول ۱).

در آمفیبول شماره۴ از مرکز به سمت لبه کانی، رنگ تداخلی از نارنجی مایل به قرمز سری اول به خاکستری سری اول تغییر کرده، مقدار شکست مضاعف از ۰/۰۱۸ به ۰/۰۱۱ کاهش یافته، زاویه خاموشی از ۱۵ به ۱۰ درجه کاهش یافته و رنگ غیرتداخلی در راستای $n\gamma$ برای مرکز بلور سبز مایل به آبی و برای لبه آن سبز کم رنگ بوده، در حالی که رنگ غیرتداخلی در راستای $n\alpha$ برای مرکز بلور سبز مایل به زرد و برای لبه آن، زرد مایل به سبز است (شکل ۴ پ و جدول۱).



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی از چگونگی راستاگیری ضرایب شکست نسبت به راستای {۰۰۱} آمفیبول‌های دارای منطقه بندی الف) آمفیبول ۱۲، ب) آمفیبول ۲، پ) آمفیبول ۴. a، b و c نشانگر محورهای بلورشناسی و $n\alpha$، $n\beta$ و $n\gamma$ نشانگر ضرایب شکست نوری هستند. تصاویر در نور یک بار قطبیده ثبت شده‌اند.

جدول ۱ ویژگی‌های نوری مرکز و لبه آمفیبول‌های شماره ۱۲، ۲ و ۴.

شماره آمفیبول / ویژگی های نوری	۴	۲	۱۲
انطباق محور بلورشناسی با راستاهای نوری بلور	c, nγ, nβ, a, b, nα	c, nγ, nβ, a, b, nα	c, nγ, nβ, a, b, nα
نوع برش	برش طولی موازی با محور [۰۰۱c]	برش طولی موازی با محور [۰۰۱c]	برش طولی موازی با محور [۰۰۱c]
چند رنگی	γ: سبز آبی (مرکز) γ: سبز کم‌رنگ (لبه) α: سبز زرد (مرکز) α: سبز مایل به زرد کم-رنگ (لبه)	γ: سبز آبی (مرکز) γ: سبز کم‌رنگ (لبه) α: سبز زرد (مرکز) α: سبز مایل به زرد کم-رنگ (لبه)	γ: سبز آبی (مرکز) γ: سبز کم‌رنگ (لبه) α: سبز زرد (مرکز) α: سبز مایل به زرد کم-رنگ (لبه)
راستایابی	b =β	b =β	b =β
زاویه خاموشی $c^\wedge\gamma$	مرکز: ˚۱۵ لبه: ˚۱۰	مرکز: ˚۱۷ لبه: ˚۱۰	مرکز: ˚۲۱ لبه: ˚۱۶
شکست مضاعف	مرکز: ۰/۰۱۸ لبه: ۰/۰۱۱	مرکز: ۰/۰۱۴ لبه: ۰/۰۱۳	مرکز: ۰/۰۱۸ لبه: ۰/۰۱۰
رنگ تداخلی	مرکز: نارنجی مایل به قرمز سری اول لبه: خاکستری سری اول	مرکز: زرد مایل به - نارنجی سری اول لبه: خاکستری سری اول	مرکز: قرمز نارنجی سری اول لبه: خاکستری سری اول

ترکیب شیمیایی

آمفیبول‌های شماره ۲، ۴ و ۱۲ که ویژگی‌های نوری آن‌ها بررسی شد، تجزیه نقطه‌ای نیز شدند که نتایج آن‌ها در جدول‌های ۲ تا ۴ ارائه شده‌اند. در این پژوهش برای نامگذاری آمفیبول‌ها از روش لیک و همکاران [۱۷] استفاده شد. در این روش، بر اساس ترکیب شیمیایی اعضای گروه آمفیبول از فرمول عمومی $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$ استفاده می‌شود که در آن A، B، C، T و OH جایگاه‌های کاتیونی هستند. A نشانگر کاتیون‌های بزرگ و B نشان دهنده کاتیون‌های در دو جایگاه M4 است. C یک جایگاه پنج‌تایی مرکب از دو جایگاه M1، دو جایگاه M2 و یک جایگاه M3 بوده و جایگاه T نیز هشت جایگاه به ازای هر واحد فرمولی است. در این روش، آمفیبول‌ها بر اساس جایگاه B یا M4 به ۴ گروه تقسیم می‌شوند که شامل آمفیبول‌های گروه Mg-Fe-Mn-Li با $(Ca+Na)_{M4}<1.00$ و $(Mg,Fe,Mn,Li)_{M4}\geq1.00$، گروه کلسیمی، با $(Ca+Na)_{M4}\geq1.00$، $Ca_{M4}>1.50$ و $Na_{M4}<0.50$، گروه سدیمی - کلسیمی با $(Ca+Na)_{M4}\geq1.00$ و $0.50<Na_{M4}<1.50$ و گروه سدیمی با $Na\geq1.50$ هستند. برپایه این روش، آمفیبول‌های مورد بررسی در دو با ترکیب اکتینولیت وابسته به گروه آمفیبول‌های کلسیمی و ترکیبات ریشتریت و وینچیت وابسته به گروه آمفیبول‌های سدیمی – کلسیمی رده طبقه‌بندی می‌شوند. مرکز آمفیبول‌های مورد بررسی (نقاط $C_1, C_2, C_3, C_4, C_{25}, C_{26}, C_{38}, C_{41}$) دارای ترکیب وینچیت و ریشتریت است، در حالیکه لبه آن‌ها (نقاط $R_5, R_6, R_7, R_8, R_{29}, R_{30}, R_{42}, R_{43}$) بیشتر ترکیب اکتینولیتی دارند (جدول‌های ۳ تا ۴ و شکل ۵).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

جدول۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای برای آمفیبول شماره ۱۲. (مقطع Y-15) فرمول ساختاری و محاسبه مقدار Fe^{3+} بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار AX [۱۲] انجام شده است.

شماره نقطه	C1	C2	C3	C4	R5	R6	R7	R8
SiO_2	۵۳/۶۹	۵۴/۰۴	۵۳/۷۳	۵۴/۱۳	۵۴/۲۱	۵۳/۰۱	۵۳/۸۶	۵۴/۱۱
TiO_2	۰/۱۲	۰/۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۱۷
Al_2O_3	۷/۷۱	۷/۹۸	۸/۳۱	۸/۰۲	۳/۱۲	۲/۸۶	۳/۰۱	۲/۵۷
Fe_2O_3	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۱	۲/۳۶	۱/۹۷	۱/۷۹	۰/۰۰
FeO	۱۰/۳۶	۱۱/۲۳	۱۰/۹۷	۱۱/۴۲	۱۰/۸۶	۱۱/۲۴	۱۱/۰۴	۱۳/۱۱
MnO	۰/۵	۰/۶۱	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۲	۰/۱۲
MgO	۱۲	۱۱/۸۳	۱۱/۵۶	۱۲/۲۵	۱۵/۶۱	۱۶/۰۱	۱۵/۸۷	۱۴/۲۳
CaO	۶/۶۶	۷/۱۲	۸/۰۱	۶/۶۸	۱۰/۳۰	۱۱/۲۳	۱۱	۱۲/۰۴
Na_2O	۵/۱۲	۳/۸۳	۴/۲۷	۴/۳۸	۲/۰۱	۲	۱/۸۶	۱/۶۷
K_2O	۰/۱	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۴
مجموع	۹۶/۵۳	۹۷/۰۵	۹۷/۲۱	۹۷/۴۴	۹۸/۵۸	۹۸/۴۳	۹۸/۸۱	۹۸/۰۶
$No.O_X$	O = ۲۳							
$Si^{(T)}$	۷/۷۱۵	۷/۶۹۶	۷/۶۴۶	۷/۶۷۵	۷/۶۹۵	۷/۵۹۰	۷/۶۴۹	۷/۷۸۶
$Ti^{(Oct)}$	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸
$Al^{(T)}$	۰/۲۸۵	۰/۳۰۴	۰/۳۵۴	۰/۳۲۵	۰/۳۰۵	۰/۴۱	۰/۳۵۱	۰/۲۱۴
$Al^{(Oct)}$	۱/۰۱۵	۱/۰۳۶	۱/۰۴	۱/۰۱۶	۰/۲۱۷	۰/۰۷۳	۰/۱۵۳	۰/۲۲۲
$Fe^{3+(Oct)}$	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲۲	۰/۲۵۲	۰/۲۱۲	۰/۱۹۱	۰/۰۰
$Fe^{2+(Oct)}$	۱/۲۳۹	۱/۳۳۷	۱/۳۰۶	۱/۳۵۵	۱/۲۸۹	۱/۳۴۶	۱/۳۱۱	۱/۵۷۸
$Mn^{(Oct)}$	۰/۰۶۱	۰/۰۷۴	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴	۰/۰۱۵
$Mg^{(Oct)}$	۲/۵۵۷	۲/۵۱۱	۲/۴۵۲	۲/۵۸۹	۳/۳۰۲	۳/۴۱۶	۳/۳۵۹	۳/۰۵۲
$Ca^{(M4)}$	۱/۰۲۰	۱/۰۸۶	۱/۲۲۱	۱/۰۱۵	۱/۵۶۷	۱/۷۲۳	۱/۶۷۴	۱/۸۵۶
$Na^{(M4)}$	۰/۹۸	۰/۹۱۴	۰/۷۷۹	۰/۹۸۵	۰/۴۳۳	۰/۲۷۷	۰/۳۲۶	۰/۱۴۴
$Na^{(A)}$	۰/۴۳۹	۰/۱۴۴	۰/۳۹۹	۰/۲۱۹	۰/۱۲	۰/۲۷۸	۰/۱۸۶	۰/۳۲۲
$K^{(A)}$	۰/۰۱۸	۰/۰۳۸	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷
مجموع	۱۵/۳۴۱	۱۵/۱۶۱	۱۵/۲۴۷	۱۵/۲۴۹	۱۵/۱۹۴	۱۵/۳۳۹	۱۵/۲۴۶	۱۵/۲۱۴

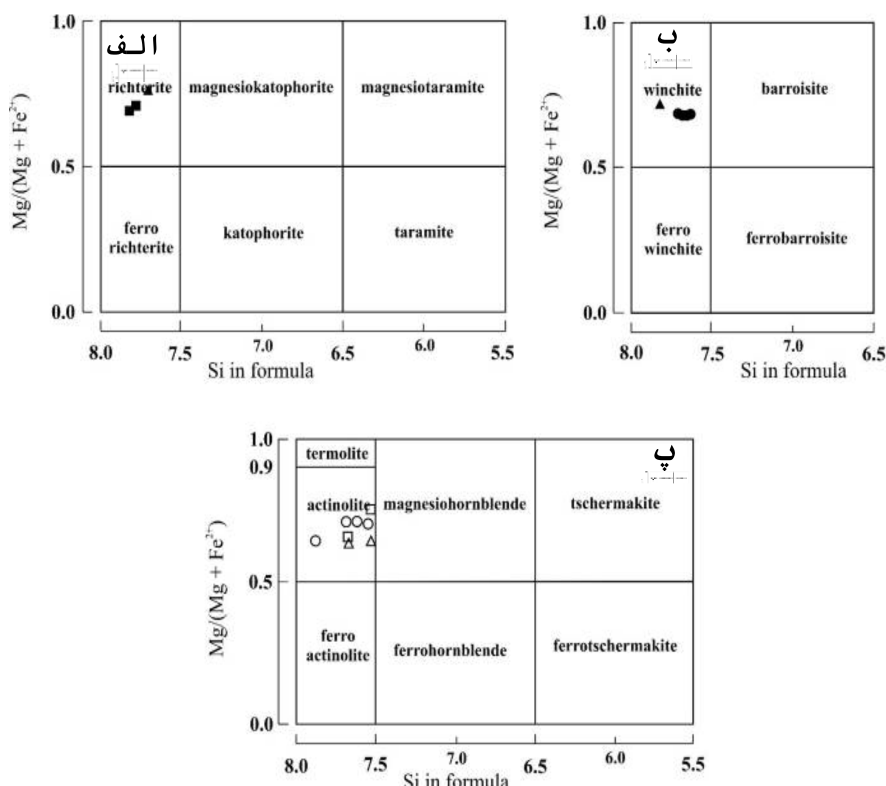
جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول شماره ۲ (مقطع Y-15). فرمول ساختاری و محاسبه مقدار Fe^{3+} با استفاده از نرم‌افزار AX [۱۲] انجام شده است.

نام کانی	Amphibole 2			
شماره مقطع	Y-15			
مرکز/لبه	هسته	هسته	لبه	لبه
شماره نقطه	C25	C26	R29	R30
SiO_2	۵۵/۸۶	۵۶/۳۱	۵۴/۱۲	۵۳/۸۶
TiO_2	۰/۳۲	۰/۲	۰/۳۱	۰/۲۱
Al_2O_3	۸/۶۵	۹/۰۱	۵/۰۱	۵/۶۱
Fe_2O_3	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۸	۲/۲۳
FeO	۸/۴۵	۸/۶۱	۱۲/۱۴	۹
MnO	۰/۰۲	۰/۲	۰/۰۴	۰/۰۶
MgO	۱۱/۶۴	۱۲/۰۱	۱۴/۱۲	۱۵/۶۱
CaO	۶/۰۱	۵/۶۳	۹/۵۵	۹/۸۶
Na_2O	۶/۴۱	۶/۴۱	۲/۸۵	۲/۱۲
K_2O	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۴
مجموع	۹۷/۳۸	۹۸/۳۸	۹۸/۴	۹۸/۶۰
$No.O_X$	O = ۲۳			
$Si^{(T)}$	۷/۸۰۶	۷/۷۸۵	۷/۶۸۱	۷/۵۵۵
$Ti^{(Oct)}$	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۲
$Al^{(T)}$	۰/۱۹۴	۰/۲۱۵	۰/۳۱۹	۰/۴۴۵
$Al^{(Oct)}$	۱/۲۳۱	۱/۲۵۳	۰/۵۱۹	۰/۴۸۳
$Fe^{3+(Oct)}$	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۲۳۵
$Fe^{2+(Oct)}$	۰/۹۸۸	۰/۹۹۵	۱/۴۴۱	۱/۰۵۶
$Mn^{(Oct)}$	۰/۰۰۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷
$Mg^{(Oct)}$	۲/۴۲۴	۲/۴۷۴	۲/۹۸۷	۳/۲۶۳
$Ca^{(M4)}$	۰/۹	۰/۸۳۴	۱/۵	۱/۵
$Na^{(M4)}$	۱/۱	۱/۱۶۶	۰/۵۴۸	۰/۵۱۸
$Na^{(A)}$	۰/۶۳۷	۰/۵۵۲	۰/۲۳۶	۰/۰۵۹
$K^{(A)}$	۰/۰۰۴	۰/۰۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷
مجموع	۱۵/۳۱۸	۱۵/۳۲۱	۱۵/۲۵۵	۱۵/۱۳۳

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

جدول ۴ نتایج تجزیه نقطه‌ای برای آمفیبول شماره ۴ (مقطع Y-15). فرمول ساختاری و محاسبه مقدار Fe^{3+} با استفاده از نرم‌افزار AX [۱۲] انجام شده است.

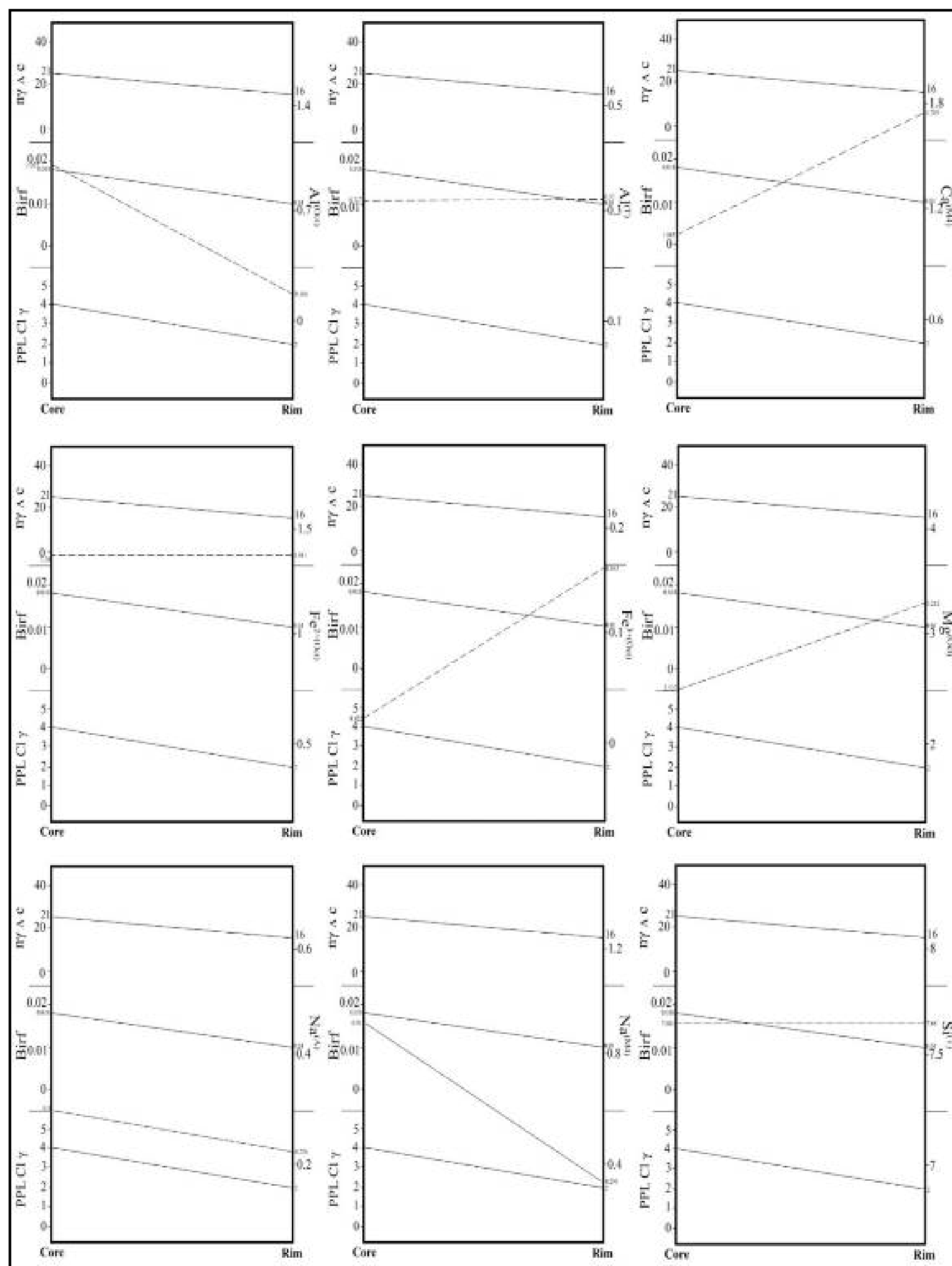
نام کانی	Amphibole 4			
شماره مقطع	Y-15			
مرکز/لبه	هسته	هسته	لبه	لبه
شماره نقطه	C38	C41	R42	R43
SiO_2	۵۶٫۱۴	۵۷٫۰۱	۵۳٫۴۱	۵۴٫۶۵
TiO_2	۰٫۰۴	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۳
Al_2O_3	۱۱٫۶۱	۱۱٫۴۳	۷٫۴۱	۷٫۲۳
Fe_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۵۱	۰٫۰۰
FeO	۶٫۹۷	۶٫۱۲	۹٫۶۷	۱۱٫۲۱
MnO	۰٫۱	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۲
MgO	۱۱٫۶۱	۱۰٫۸۶	۱۴٫۶۱	۱۳٫۰۱
CaO	۴٫۵۳	۴٫۳۵	۱۰	۹٫۸۷
Na_2O	۷٫۱۳	۶٫۸۵	۲٫۳۱	۲٫۰۱
K_2O	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۰۱	۰٫۰۳
مجموع	۹۸٫۱۷	۹۶٫۹۸	۹۸٫۱۶	۹۸٫۳۴
$No.O_X$	O = ۲۳			
$Si^{(T)}$	۷٫۶۹۱	۷٫۸۴۲	۷٫۵۰۹	۷٫۶۷۶
$Ti^{(Oct)}$	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۴
$Al^{(T)}$	۰٫۳۰۹	۰٫۱۵۸	۰٫۴۹۱	۰٫۳۲۴
$Al^{(Oct)}$	۱٫۵۶۶	۱٫۶۹۶	۰٫۷۳۷	۰٫۸۷۳
$Fe^{3+(Oct)}$	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵۴	۰٫۰۰
$Fe^{2+(Oct)}$	۰٫۷۹۹	۰٫۷۰۴	۱٫۱۳۷	۱٫۳۱۷
$Mn^{(Oct)}$	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۳	۰٫۰۲۴
$Mg^{(Oct)}$	۲٫۳۷۱	۲٫۲۲۶	۳٫۰۶۱	۲٫۷۲۳
$Ca^{(M4)}$	۰٫۶۶۵	۰٫۶۴۱	۱٫۵۰۶	۱٫۵
$Na^{(M4)}$	۱٫۳۳۵	۱٫۳۵۹	۰٫۴۹۴	۰٫۵۱۵
$Na^{(A)}$	۰٫۵۵۹	۰٫۴۶۸	۰٫۱۳۶	۰٫۰۳۲
$K^{(A)}$	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵
مجموع	۱۵٫۳۱۷	۱۵٫۱۴۱	۱۵٫۱۵۳	۱۴٫۹۸۸



شکل ۵ نمودار رده‌بندی آمفیبول‌های سدیمی - کلسیمی (الف و ب) و آمفیبول‌های کلسیمی (پ) [۱۷] در اکتینولیت شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین. (■مرکز آمفیبول۲؛ ▲ مرکز آمفیبول۴؛ ● مرکز آمفیبول ۱۲؛ □ لبه آمفیبول۲؛ Δ لبه آمفیبول ۴ و لبه بلور ۱۲).

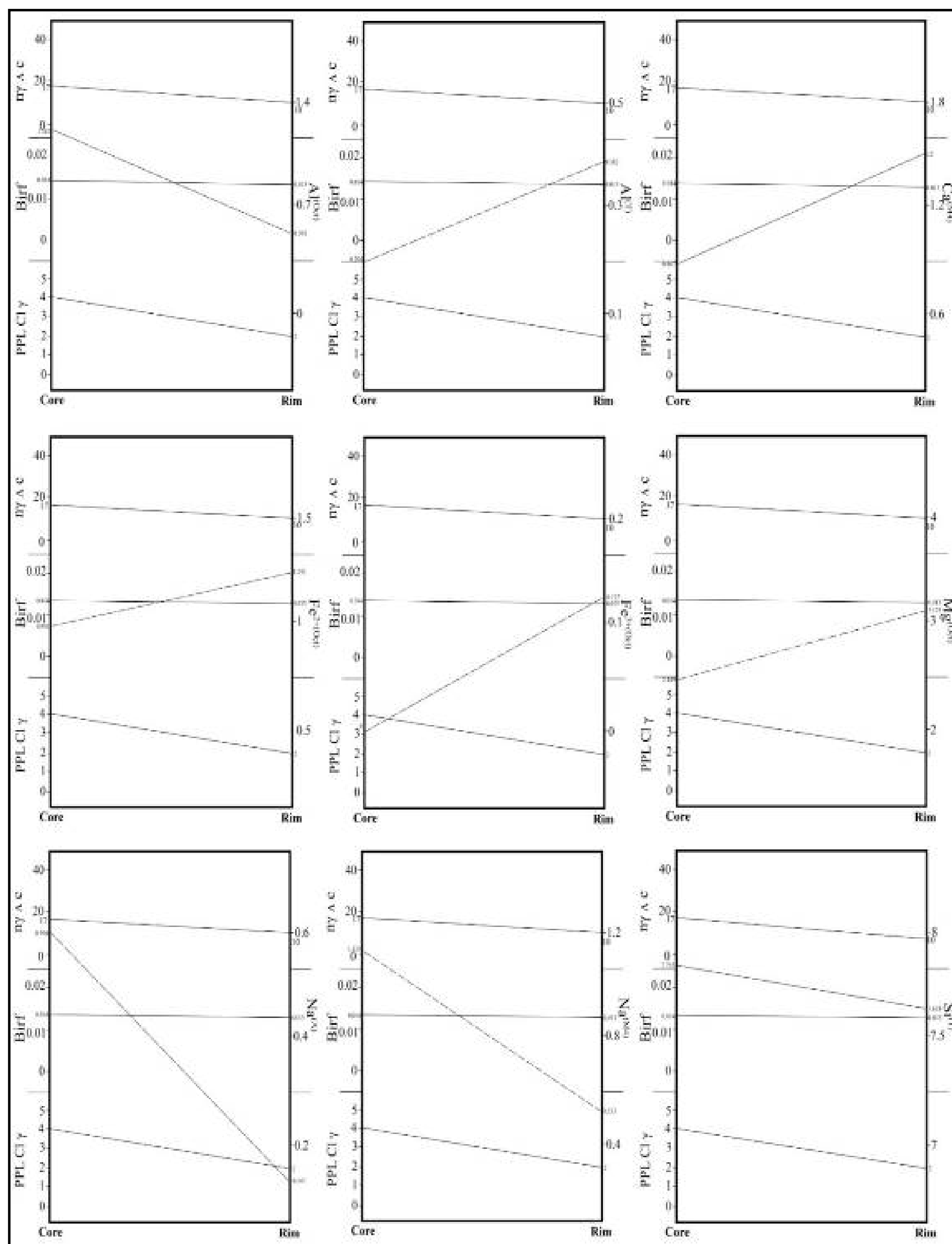
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

در آمفیبول شماره ۱۲ از مرکز به سمت لبه بلور، مقادیر Mg^{Oct}، Ca^{M4}، $Fe^{2+ Oct}$ و Fe^{3+Oct} افزایش یافته، در حالی‌که مقادیر Al^{Oct}، $Na_{(M4)}$ و $Na_{(A)}$ کاهش می‌یابد. مقادیر میانگین Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct} و Fe^{3+Oct} در مرکز بلور به ترتیب عبارتند از ۲٫۵۲۷، ۱٫۰۸، ۱٫۳۰۹، ۰٫۰۲ و در لبه بلور به ترتیب برابر با ۳٫۲۸۲، ۱٫۷۰۵، ۱٫۳۸۱، ۰٫۱۶۳ هستند. همچنین مقادیر میانگین Al^{Oct}، Na^{M4}و Na^{A} که در مرکز بلور به ترتیب عبارتند از ۱٫۰۲۷، ۰٫۹۱۴ و ۳٫۰۰ و در لبه بلور برابر با ۰٫۱۶۶، ۰٫۲۹۵ و ۰٫۲۲۶ هستند. مقادیر Si و Al^{T}از مرکز به لبه تغییر نکرده‌اند (جدول۲ و شکل ۶). با در نظر گرفتن تغییرات کاتیون‌ها از مرکز به سمت لبه، مهمترین جانشینی رخ داده عکس جانشینی گلوکوفانی است.



شکل ۶ نمودار تغییرات کاتیون‌ها نسبت به ویژگی‌های نوری اندازه‌گیری شده از مرکز به سمت لبه در آمفیبول شماره ۱۲ اعداد ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب نشانگر رنگ زرد، سبز زرد، سبز کم‌رنگ، سبز، سبز آبی و آبی در نور عادی هستند. خط ممتد نشان دهنده تغییرات زاویه خاموشی، شکست مضاعف و رنگ در نور عادی بوده و خط چین نشانگر تغییرات عناصر در جایگاه‌های مختلف هم‌آرایی هستند. ($n\gamma \wedge c$ = زاویه خاموشی بین $n\gamma$ و محور c بلورشناسی ؛ Birf= شکست مضاعف و ppl= رنگ عادی).

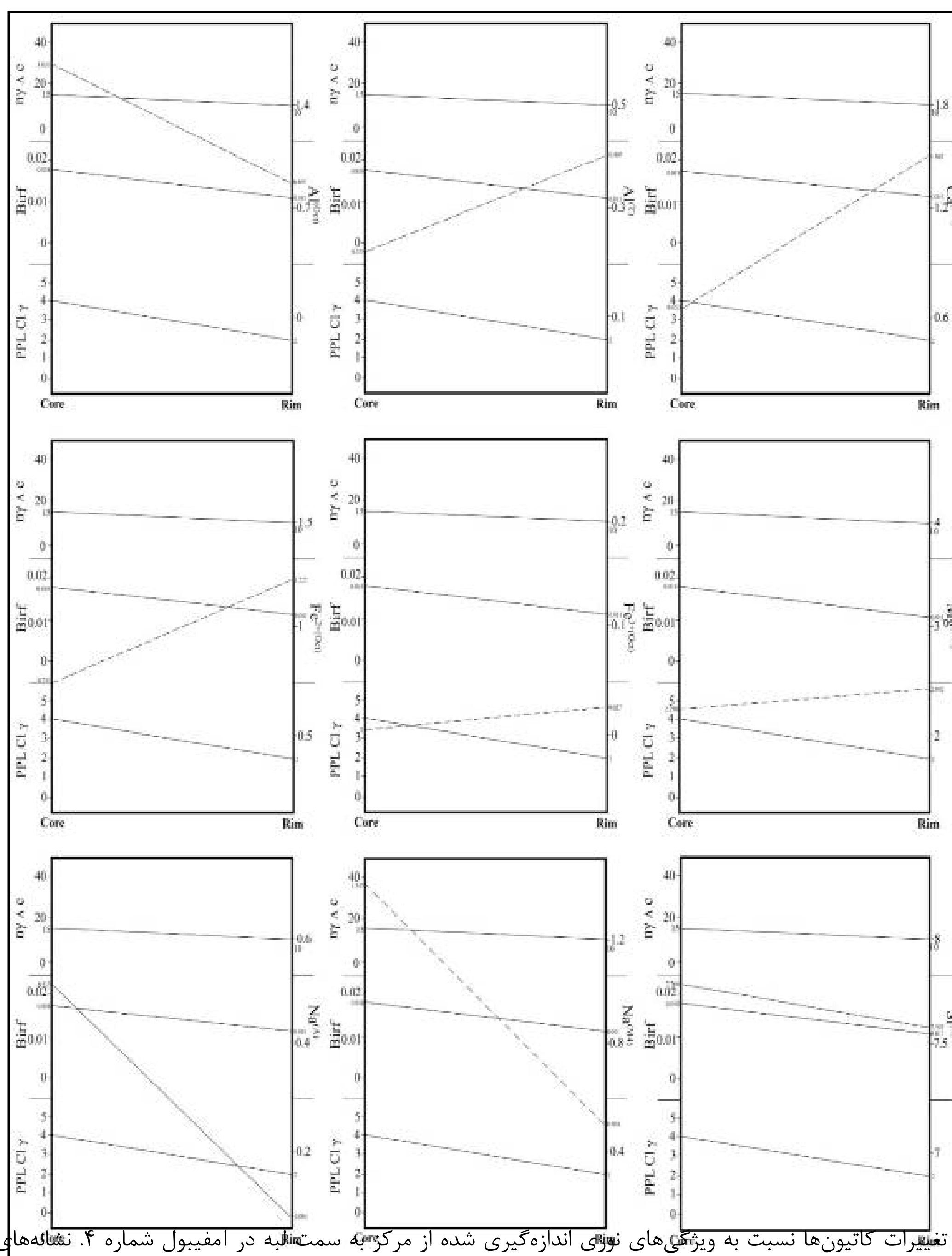
در آمفیبول شماره ۲ از مرکز به سمت لبه بلور، مقادیر Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct}، Fe^{3+Oct} و Al^{T} افزایش یافته در حالی‌که مقادیر Si^{T}، Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} کاهش پیدا کرده‌اند. مقادیر میانگین Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct}، Fe^{3+Oct} و Al^{T} در مرکز بلور ۲ به ترتیب عبارتند از ۲٫۴۵۵، ۰٫۸۷۷، ۱٫۰۱۱، ۰٫۰۰ و ۰٫۱۵۲ و در لبه بلور برابر با ۳٫۰۴۸، ۱٫۴۶۴، ۱٫۳۱، ۰٫۰۸ و ۰٫۳۲ هستند. همچنین، مقادیر میانگین Si^{T}، Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} در مرکز بلور ۲ به ترتیب عبارتند از ۷٫۷۸۹، ۱٫۲۴۶، ۱٫۱۲۲ و ۰٫۵۲و در لبه بلور برابر با ۷٫۶۷۷، ۰٫۵۳۷، ۰٫۵۵۷ و ۰٫۱۷۹ هستند (جدول ۳ و شکل ۷). در اینجا نیز مهمترین جانشینی رخ داده عکس جانشینی گلوکوفانی است. البته نسبت به بلور ۱۲، جانشینی پلاژیوکلازی $Si^{T}Ca^{M4}_{-1}$ $Al^{T}Na^{M4}$ نیز موجب تغییر ترکیب شیمیایی از مرکز به لبه بلور شماره ۲ شده است.



شکل ۷ نمودار تغییرات کاتیون‌ها نسبت به ویژگی‌های نوری اندازه‌گیری شده از مرکز به سمت لبه در آمفیبول شماره ۲. نشانه های به کار رفته مانند شکل ۶ هستند

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.4.3.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.28.4.845]

در آمفیبول شماره ۴ از مرکز به سمت لبه بلور، مقادیر Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct}، Fe^{3+Oct} و Al^{T} افزایش یافته در حالی‌که مقادیر Si^{T}، Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} کاهش پیدا کرده‌اند. مقادیر میانگین Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct}، Fe^{3+Oct} و Al^{T} در مرکز بلور ۴ به ترتیب عبارتند از ۲٫۲۹۸، ۰٫۶۵۳، ۰٫۷۵۱، ۰٫۰۰ و ۰٫۲۳۳ و این مقادیر در لبه بلور برابرند با ۲٫۸۸۵، ۱٫۴۳۲، ۱٫۲۲۴ و ۰٫۰۴۸. همچنین Si^{T}، Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} در مرکز بلور به ترتیب عبارتند از ۷٫۷۶۶، ۱٫۶۳۱، ۱٫۳۴۷ و ۰٫۵۱ و این مقادیر در لبه بلور برابر با ۷٫۶۴۲، ۰٫۸۲۲، ۰٫۶ و ۰٫۰۵۸ هستند. در بلور شماره ۴ نیز تغییرات کاتیونی از مرکز به سمت لبه با عکس جانشینی گلوکوفانی و به مقدار کمتر پلاژیوکلازی رخ داده است (جدول ۴ و شکل ۸).



شکل ۸ نمودار تغییرات کاتیون‌ها نسبت به ویژگی‌های نوری اندازه‌گیری شده از مرکز به سمت لبه در امفیبول شماره ۴. نشانه‌های به کار رفته مانند شکل ۶ هستند

برداشت

با همخوانی نتایج به دست آمده از شیمی کانی آمفیبول و ویژگی‌های نوری، می‌توان گفت که ارتباط روشنی میان تغییر ترکیب شیمیایی و تغییر ویژگی‌های نوری از مرکز به سمت لبه بلور وجود دارد.

در آمفیبول شماره ۱۲، افزایش کاتیون‌های Mg^{Oct}، Ca^{M4}، F,e^{2+Oct} و Fe^{3+Oct} و کاهش کاتیون‌های Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} از مرکز به سمت لبه بلور نشانگر عکس جانشینی گلوکوفانی $Al^{Oct}Ca^{M4}\ Mg^{Oct}Na^{M4}_{-1}$ بوده که باعث تغییر ویژگی‌های نوری از جمله کاهش شکست مضاعف، زاویه خاموشی و تغییر رنگ تداخلی در راستاهای nγ و nα (برای nγ رنگ سبز مایل به آبی در مرکز و رنگ سبز مایل به زرد در لبه و برای nα رنگ سبز مایل به زرد در مرکز و رنگ زرد مایل به سبز در لبه) شده است (شکل ۶). در آمفیبول‌های شماره ۲ و ۴، افزایش کاتیون‌های Mg^{Oct}، Ca^{M4}، Fe^{2+Oct}، Fe^{3+Oct} و Al^{T} و کاهش کاتیون‌های Si^{T}، Al^{Oct}، Na^{M4} و Na^{A} نشانگر جانشینی عکس گلوکوفانی ($Al^{Oct}Ca^{M4}\ Mg^{Oct}Na^{M4}_{-1}$) و جانشینی پلاژیوکلازی ($Si^{T}_{-1}Ca^{M4}Al^{T}Na^{M4}_{-1}$) است (شکل‌های ۷ و ۸). عکس جانشینی گلوکوفانی به علت کاهش فشار و جانشینی پلاژیوکلازی به علت افزایش دما طی دگرگونی رخ می‌دهد [۵]. از سوی دیگر، برآورد فشار – دمای تشکیل آمفیبول‌ها با توجه به ترکیب شیمیایی مرکز و لبه آمفیبول‌ها [۱۸، ۱۹] نشان می‌دهد که مرکز آن‌ها در شرایط فشار و دمای بالاتری نسبت به لبه آن‌ها ایجاد شده‌اند. از این رو، ساختار منطقه‌بندی نوری و شیمیایی دیده شده در آمفیبول‌های شیست‌های بازی منطقه شاه‌نشین به دلیل تغییر شرایط فشار و دمای دگرگونی تشکیل شده است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از مسؤولین محترم دانشگاه زنجان برای حمایت‌های مالی در انجام این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

مراجع

[1] Hawthorne, F.C. and Veblen, D.R., "*Amphiboles and other hydrous pyriboles-mineralogy*", Reviews in Mineralogy (1981) 1-102.

[2] Veblen D. R., & Ribbe P. H. "*Amphiboles: Petrology and experimental phase relation*", Reviews in Mineralogy (1982) 390p.

[3] Gilbert M. C., Helz R. T., Popp R. K., Spear F. S., Veblen D. R., Ribbe, P. H., "*Amphiboles: petrology and experimental phase relations*", MSA Reviews in Mineralogy 9 (1982) 231-267.

[4] Deer W.A., Howher. a., Zussman. J., "*An introduction to the rock forming minerals*", Longman Scientific and Technical, England (1992) 581p.

[5] Spear F.S., "*Metamorphic phase equilibria and pressure- temperature- time path*", Mineralogical Society of America, Washington (1995) 799p.

[6] Izadyar J., "*Optical characters, chemical composition and formation mechanism of colorless sodic and sodic–calcic amphiboles in piemontite-quartz schists from high P-low T Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 13(1) (2005) 135-154 (in Persian).

[7] Nasrabadi M., Roseti F., Moein vVaziri H., Razavi M. H., Mojalal M., "*Mineralogy and thermobarometery of blueschists from Soltan Abad metamorphic complex (NE Sabzevar)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20(1) (2013) 123-140 (in Persian).

[8] Nasrabadi M., Gholizadeh K., "*Thermobarometry and tectonic setting of metamorphic rocks from the ophiolitic complex of north Torbat-E-Heidarieh*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24(2) (2016) 355-370 (in Persian).

[9] Hajalioghli R., "*Mineral chemistry, P-T and tectonometamorphic evolutions of garnet amphibolites from the Takht-e-Soleyman*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25(4) (2018) 749-760 (in Persian).

[10] Hosseini B., Ahmadi A. R., "*Structural and thermobarometric investigations of metamorphic rocks in the north of Asadabad (Sanandaj-Sirjan zone)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27(1) (2019) 151-166 (in Persian).

[11] Borg I. Y., "*Optical properties and cell parameters in the glaucophane-riebeckite series*", Contributions to Mineralogy and Petrology 15(1) (1967) 67-92.

[12] Holland T. J. B., and Powell R., "*An internally consistent thermodynamic data set with uncertainties and correlations: The system Na_2O-K_2O-CaO-MgO-MnO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-*

[16] Klein C. and Hurlbut Jr C. S., "*Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons. Inc*", New York (1999) 681p.

[17] Leak B.E., The IMA Commission., "*Nomenclature of amphiboles. Report of the sub–committee on Amphiboles of the international mineralogical Association on New–Minerals and mineral names*", Eur J Mineral 9 (1997) 623 -651.

[18] Spear F. S., & Selverstone J., "*Quantitative PT paths from zoned minerals: theory and tectonic applications*", Contributions to Mineralogy and Petrology 83(3-4) (1983) 348-357.

[19] Holland T. J., & Richardson S. W., "*Amphibole zonation in metabasites as a guide to the evolution of metamorphic conditions*", Contributions to Mineralogy and Petrology 70(2) (1979) 143-148.

TiO_2-C-H_2-O_2", Journal of Metamorphic Geology 8 (1990) 89-124.

[13] Fonoudi, M and Sayareh, A.R., "*Geology map of Yassoukand (Ghojor) 1:100000*" Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2000) (in Persian).

[14] Pouromidi A., "*Petrography and thermodynamic studying of basic schists from Shahneshin metamorphic complex in north of Yasoukand, southwest of Zanjan*", M.Sc. thesis in petrology, University of Zanjan (2016) (in Persian).

[15] Whitney D. L., Evans B. W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.